



CRECIMIENTO, ACUMULACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE MATERIA SECA EN TOMATE DE INVERNADERO

GROWTH, ACCUMULATION AND PARTITION IN GREENHOUSE TOMATO

Fidel Núñez-Ramírez^{1*}, Raúl Leonel Grijalva-Contreras², Rubén Macías-Duarte², Fabián Robles-Contreras² y Carlos Ceceña-Duran¹

¹Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California, Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Avenida S No.8 Norte. Apdo. Postal 125. Caborca, Sonora, México. 83600.

RESUMEN

Se realizó un estudio en el cultivo de tomate crecido en invernadero, con el objetivo de conocer su crecimiento y desarrollo, así como su partición y acumulación de materia seca durante su ciclo de crecimiento. Semanalmente se midió la altura, número de hojas y el área foliar de la hoja más recientemente madura. Adicionalmente, cada tres semanas se realizaron muestreos de biomasa a plantas completas y se les determinó el peso seco y su partición entre frutos y tejido foliar. Al final del estudio, la planta alcanzó una altura de 2,86 m, con una tasa máxima de crecimiento presentada entre los 165 y 175 días después del trasplante (ddt; 24 cm semana⁻¹). La máxima área foliar en la hoja más recientemente madura se presentó entre los 30 y los 80 ddt (1500 cm²). Así mismo, cada planta acumuló 1003,4 g de materia seca, destinando 54% hacia los frutos y 46% hacia las hojas y tallos. El conocimiento detallado del crecimiento de plantas de tomate de invernadero brinda a los productores la oportunidad de diseñar prácticas de manejo que incrementen sus rendimientos a la vez que hacen eficiente la aplicación de recursos como el agua y los fertilizantes.

Palabras clave: desarrollo, biomasa, índice de cosecha, fuente-demanda

ABSTRACT

A study was carried out with tomato developed under greenhouse, with the objective of know plant growth and development, and accumulation and partition of dry matter. Weekly plant height, leaves number, and area of the most recently matured leaf was obtained. Additionally, sequential plant samples were made each three weeks and dry weight and its partition on fruits and foliage tissue was determined. At end of the study, the plant achieved a size of 2.86 m, with a maximum growth rate at 165 and 175 days after transplanting (24 cm week⁻¹). Maximum area in the most recently mature leaf was present among 30 and 80 days after transplant (1500 cm²). Each plant accumulated 1003.4 g of dry matter, partitioning 54% thought fruits and 46% at stem and leaves. Knowledge of plant growth of greenhouse tomato can to help at growers to design a properly cultural management emphasizing efficiency in the inputs as water and fertilizers.

Keywords: development, harvest index, growth dynamic, resource-sink.

*Autor para correspondencia: Fidel Núñez- Ramírez

Correo electrónico: kbork2@yahoo.com

Recibido: 4 de julio de 2012

Aceptado: 10 de agosto de 2012

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los sistemas de producción agrícola como la agricultura protegida, se manejan de forma intensiva y son caracterizados por grandes entradas de insumos como agua y fertilizantes (Beck, 1997). En México, por ilustrar un ejemplo sobre el desarrollo de la industria constructora de invernaderos, en el periodo comprendido entre los años de 1990 a 2004, se experimentó un incremento de construcción de estructuras para agricultura protegida del 20% en forma anual, comenzando con 200 hectáreas y llegando a las 3,500 has; para el 2008 un estimado de 8,834 has se encontraban ya en funcionamiento (Borbón-Morales, 2009). De esta superficie construída, los Estados de Sinaloa, Baja California Norte, Baja California Sur, Sonora y Jalisco son los que ocupaban la mayor superficie de cultivos establecidos, figurando entre estos el tomate, el pimiento y el pepino principalmente (Castellanos y Borbón, 2009).

México posee gran diversidad de climas por lo que los rendimientos de dichos cultivos varían dependiendo del nivel de tecnología aplicada (invernaderos, malla-sombra y/o macrotúneles), condiciones de luz, temperatura y sustrato o suelo en el que se desarrollen (Costa y Giacomelli, 2005). Por ejemplo, Godoy *et al.* (2009) produjeron rendimientos de 30 kg m⁻² en tomate de invernadero al cultivarlo en suelos arcillosos bajo condiciones de luz e inviernos suaves del Bajío Guanajuatense; Rubcoba *et al.* (2006) produjeron rendimientos de 22 kg m⁻² de tomate al cultivarlos en hidroponía en la región centro sur del Estado de Chihuahua, mientras que Grijalva *et al.* (2011) obtuvieron rendimientos de 24 kg m⁻² en tomate crecido bajo condiciones de suelo arenoso e inviernos extremos del desierto sonorense. Al igual que los rendimientos de los cultivos resultan afectados por las condiciones ambientales, el desarrollo de las plantas también se altera al modificarse sus características morfológicas y fisiológicas (Lambers *et al.*, 1990 citado por De Groot *et al.*, 2001). Debido a lo anterior, el presente trabajo consistió en estudiar la dinámica de crecimiento, desarrollo y partición de materia

seca del cultivo de tomate en invernadero bajo condiciones ambientales del desierto de Sonora.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en un invernadero de baja tecnología con una superficie de 1,440 m², con cubierta de plástico de 8 mils, con ventanas laterales operadas manualmente y ventanas zenitales automáticas que abren o cierran a una temperatura igual o mayor de 30 °C y sin equipo de calefacción, situado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias del Campo Experimental Caborca, cuyas coordenadas de ubicación son 30°42'55" latitud norte y 112°21'28" longitud oeste a una altura de 200 msnm. Durante el tiempo que duró el estudio, se registraron las temperaturas máximas y mínimas dentro del invernadero a través de un termómetro localizado en la parte central del invernadero a una altura de 2.0 m.

El cultivo utilizado fue tomate tipo bola variedad Beatrice (Zeraim Gedera®), y se sembró el día 28 de agosto en charolas de poliestireno de 120 cavidades, para posteriormente realizar el trasplante el día 4 de octubre del 2004 cuando las plántulas tenían de 4 a 5 hojas verdaderas y una altura de 25 cm. Se utilizó un suelo acolchado con plástico bicolor (blanco-negro) de textura franco arenosa, con un pH ligeramente alcalino de 7,96, una conductividad eléctrica de 1,22 dSm⁻¹, un contenido de materia orgánica de 0,2%, así como una baja capacidad de intercambio catiónico del orden de 14,62 cmol kg⁻¹.

La densidad de población fue de 3,8 plantas m² trasplantadas sobre camas separadas a 1,6 m. Las plantas fueron entrenadas a un solo tallo y sostenidas por hilo rafia a una altura de 3,10 m. Semanalmente se quitaron los brotes axilares y se eliminaron las hojas inferiores conforme avanzaba la altura de cosecha, dejando dos racimos por debajo de la última hoja. El riego se aplicó diariamente utilizando entre 1,0 y 2,0 L por planta, de acuerdo a la etapa del cultivo, utilizando agua de riego de

pozo profundo, la cual contenía un conductividad eléctrica de 0,7 dSm⁻¹ y un pH de 7,5. La fertilización se aplicó cada dos días en forma fraccionada durante el ciclo de crecimiento del cultivo y fue del orden de los 800-300-900-100-100 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Al inicio del estudio, se escogieron diez plantas al azar a las cuales semanalmente se les midió la altura, el número de hojas y el área foliar de la hoja más recientemente madura utilizando la fórmula propuesta de Schwartz y Kläring (2001):

$$A_{\text{foliar}} = 0,362 Ls^{2,490},$$

Donde A = foliar significa área foliar, 0,362 es un factor y Ls significa largo de la hoja elevada al exponente 2,490. Adicionalmente, cada tres semanas se realizaron muestreos de biomasa compuestos por cinco plantas elegidas al azar, las cuales se separaron en tejido foliar (hojas y tallo) y frutos. Se sometieron a secado en estufa de aire forzado, a una temperatura 60 °C durante cinco días hasta obtener el peso constante. Los datos obtenidos se graficaron *versus* tiempo expresado en ddt con el fin de desarrollar modelos matemáticos de crecimiento. Se escogió como mejor modelo a aquel que se ajustara a un valor cercano a 1, según la R² obtenida (Thompson *et al.*, 2000; Thompson y Deorge, 1995).

La cosecha de tomate se realizó a los 110 ddt y los rendimientos se determinaron en frutos a madurez fisiológica (comúnmente llamado rosado). Su clasificación fue como chicos, medianos, grandes, extra-grandes y muy grandes, con diámetros aproximados de 54-58, 59-64, 65-73 y 74-88 y >88 mm, respectivamente (Jones, 1998). El rendimiento comercial fue considerado como aquel que mantenía frutos sanos y de características deseables, mientras que el rendimiento total incluyó los frutos comerciales, malformados, con defectos de pudrición apical o con daño por insectos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El crecimiento vegetal es extremadamente sensible a la temperatura y cada especie o variedad

posee en cualquier etapa fenológica de su vida y en cualquier conjunto de condiciones de estudio, una temperatura mínima debajo de la cual no crece, una temperatura óptima en la que crece a una tasa máxima y una temperatura máxima a la cual no crecerá (Salisbury y Ross, 1994). Las condiciones generales de temperatura ocurridas durante el estudio dentro del invernadero son presentadas en la Figura 1; en ellas se aprecia el comportamiento de las temperaturas máximas, las cuales se mantuvieron en el orden de los 30 °C durante los primeros ciento cinco días, después descendieron alrededor de 7 °C durante los siguientes doce días, para después incrementarse hasta el final del estudio y llegar a un promedio de 31 °C. Por otro lado, el comportamiento de las temperaturas mínimas se mantuvo en promedio entre los 8 y 12 °C durante los primeros 65 ddt, para después presentarse un periodo de diez días con bajas temperaturas del orden de los 5 °C, después de las cuales las temperaturas mínimas se incrementaron llegando a alcanzar un promedio de 10 °C. Transcurridos los ciento treinta y cinco días, las temperaturas mínimas se incrementaron hasta llegar a los 15 °C, finalizando con temperaturas promedio de 20 °C. Al respecto, Jones (1998) indica que el cultivo de tomate se desarrolla dentro de un rango de temperaturas entre 10 y 35 °C y que temperaturas inferiores a este rango, inhiben su desarrollo vegetativo, reducen la polinización y no

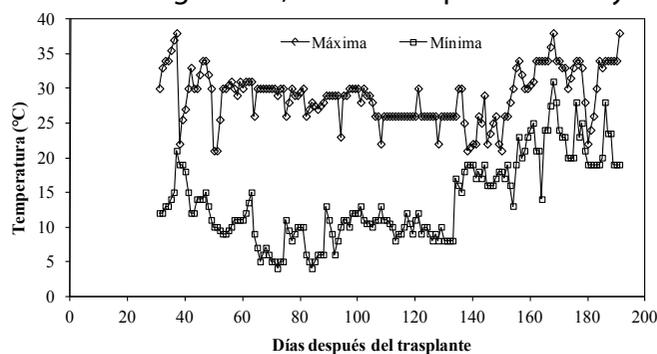


Figura 1. Condiciones de temperatura presentadas durante el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate de invernadero

Figure 1. Temperature conditions during growth and development of greenhouse tomato

permiten una maduración uniforme de los frutos; señala también, que temperaturas superiores a los 35 °C, reducen el amarre del fruto e inhiben el desarrollo normal del color de las frutas. Por otro lado Ho (1995) hace referencia a que altibajos en temperaturas, repercuten en un desbalance entre el comportamiento vegetativo y generativo que toma la planta, al tener cambios bruscos de temperaturas, afectando los rendimientos.

Altura y Número de Hojas

Conocer el comportamiento de un cultivo bajo determinadas condiciones ambientales y de manejo, implica medir su tasa de crecimiento en relación al tiempo, y es posible expresarlo como altura, número de hojas, área foliar (Schwartz y Klaring, 2001), estado fenológico, entre otros (Thompson *et al.*, 2000). En este estudio, la máxima altura que alcanzó el cultivo fue de 2,86 m (Fig. 2), mientras que la mayor tasa de crecimiento se presentó entre los 165 y 175 ddt con un crecimiento de 24 cm semana⁻¹ (Fig. 3), periodo durante el cual la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas disminuyó, manteniéndolas dentro del rango de crecimiento denominado óptimo para este cultivo (Jones, 1998).

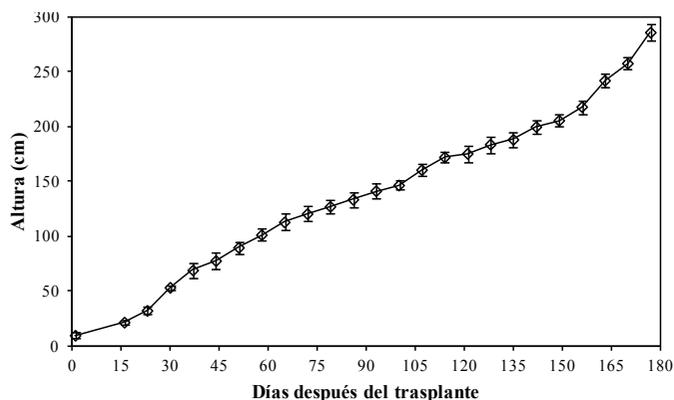


Figura 2. Altura de plantas en el cultivo de tomate de invernadero. Las barras representan la desviación estándar de $n = 10$

Figure 2. Plant height of tomato grown under greenhouse conditions. Bars represent the standard deviation of $n = 10$

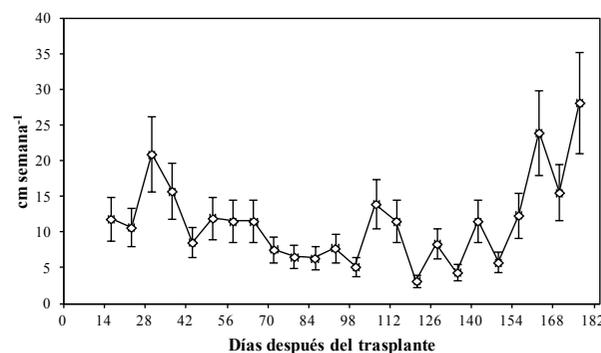


Figura 3. Tasa de crecimiento semanal en el cultivo de tomate de invernadero. Las barras representan la desviación estándar de $n = 10$

Figure 3. Weekly growth rate of tomato grown under greenhouse conditions. Bars represent the standard deviation of $n = 10$

Por otro lado la figura 4, muestra la acumulación de hojas en el cultivo de tomate durante su ciclo de crecimiento. Al final del estudio, el cultivo acumuló alrededor de 53,4 hojas, de las cuales la máxima tasa semanal de aparición de hojas (5,2 hojas semana⁻¹), sucedió a los 107 ddt. En el cultivo de tomate indeterminado, el primer racimo floral aparece después de la sexta u octava hoja y después de cada tres hojas continúa apareciendo un racimo floral (Papadopoulos, 1991). En este sentido, es posible inferir la aparición de quince racimos florales durante el tiempo que perduró el estudio.

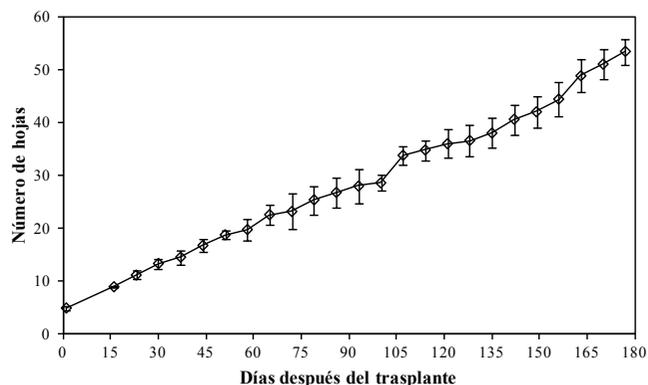


Figura 4. Acumulación del número de hojas en el cultivo de tomate invernadero. Las barras representan la desviación estándar de $n = 10$

Figure 4. Accumulation of leaf number of tomato grown under greenhouse conditions. Bars represent the standard deviation of $n = 10$

Área de la Hoja más Recientemente Madura

El mantener un flujo de crecimiento ordenado es de importancia para cultivos desarrollados bajo condiciones protegidas, esto asegura el rendimiento sostenido en el tiempo y el espacio. En el presente estudio, el área de la hoja más recientemente madura se incrementó en forma lineal durante los primeros 40 ddt, iniciando con $200 \text{ cm}^2 \text{ hoja}^{-1}$ y terminando con $1500 \text{ cm}^2 \text{ hoja}^{-1}$ (Fig. 5). Durante los siguientes 40 días, el área se mantuvo en el orden

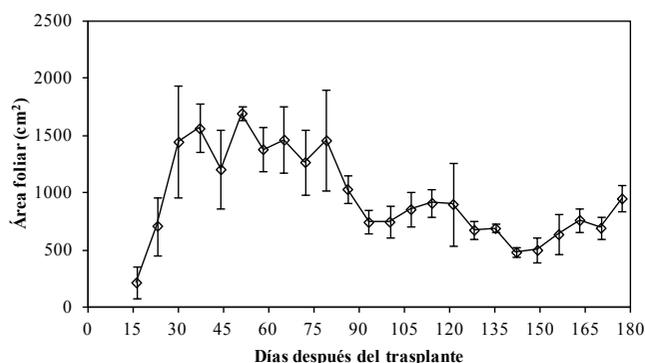


Figura 5. Área foliar de la hoja más recientemente madura en el cultivo de tomate crecido en invernadero. Las barras representan la desviación estándar de $n = 10$.

Figure 5. Area of most recently matured leaf of tomato grown under greenhouse conditions. Bars represent the standard deviation of $n = 10$.

de los $1450 \text{ cm}^2 \text{ hoja}^{-1}$ para después descender a los $750 \text{ cm}^2 \text{ hoja}^{-1}$ y sostenerse en el tiempo hasta los 180 ddt. Lo anterior significa un crecimiento vigoroso durante los primeros ochenta ddt para después reducirse y sostenerse conforme se incrementaba la formación y producción de frutos.

Acumulación de Materia Seca

La Figura 6, muestra la acumulación de materia seca y su distribución en follaje y frutos. Como anteriormente se mencionó, la producción de materia seca en forma de frutos dió inicio a los 59 ddt, y se igualó con la producción de materia seca del tallo y follaje justo a los 140 ddt (320 g cada uno de ellos). Al final del estudio, el cultivo acumuló $1003,47 \text{ g}$ de materia seca por planta, de los cuales el 54% se

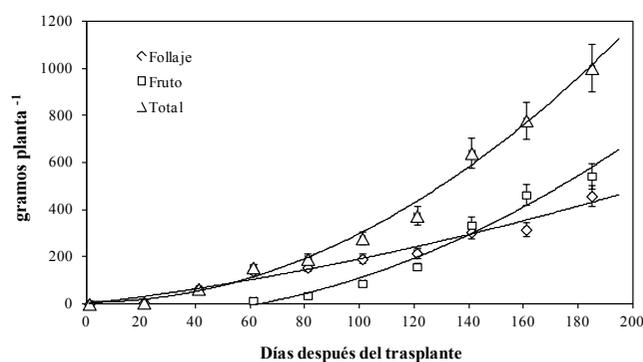


Figura 6. Acumulación de materia seca en el cultivo de tomate de invernadero. Las barras representan la desviación estándar de $n = 5$.

Figure 6. Dry matter accumulation of tomato grown under greenhouse conditions. Bars represent the standard deviation of $n = 5$.

destinó hacia los frutos y el 46% restante hacia las hojas y tallos. Investigaciones realizadas por Heuvelink *et al.* (2005) demostraron resultados similares en el cultivo de tomate al evaluar densidades de población. Estos investigadores, encontraron que la mayor cantidad de materia seca, era destinada en mayor proporción hacia los frutos y en menor proporción hacia los tejidos foliares. Por otro lado, Andriolo *et al.* (2003) estudiaron el crecimiento de plantas de tomate de invernadero sometidas a niveles de salinidad y durante las estaciones de primavera y otoño. Ellos encontraron que el desarrollo y crecimiento resultó ser diferente entre estaciones, resultando una mayor acumulación de biomasa durante la primavera en relación al cultivo de otoño. Estos y otros estudios (Andriolo y Falcão, 2000) refuerzan la premisa de desarrollar tecnología de producción de cultivos para cada región en particular (Etchevers, 1997).

La Tabla 1 muestra los modelos matemáticos obtenidos para expresar el comportamiento de la acumulación de materia seca del cultivo. Las variables Bf, Fo y Bt, significan la biomasa del fruto, biomasa del follaje, biomasa total, respectivamente, en relación a los días después del trasplante. Este tipo de ecuaciones han sido desarrolladas para diversos cultivos (Thompson y Deorge, 1995; Thompson *et al.*, 2000) y sirven para proveer infor-

mación acerca de la forma y velocidad en que éstos crecen y se desarrollan en relación con el tiempo y condiciones ambientales (Heuvelink, 1995; Heuvelink, 1996; Heuvelink, 1999; Bugarín-Montoya *et al.*, 2001).

Rendimiento

Durante el tiempo que duró el estudio se realizaron un total de quince cortes de fruta, en los cuales el cultivo acumuló un rendimiento de 22,6 kg m⁻² mismos que estuvieron distribuidos 36, 20, 24 y 20% en los tamaños de chicos, medianos, grandes y extra grandes, respectivamente (Tabla 2). Estos rendimientos han sido obtenidos anteriormente en estudios realizados por Grijalva *et al.* (2011), al evaluar el potencial productivo de diversas híbridos de tomate de invernadero cultivado bajo este mismo ambiente.

Tabla 1. Modelos matemáticos obtenidos en la acumulación de biomasa total (Bt) en fruto (Fr) y en follaje (Fo) en tomate de invernadero, expresados como días después del trasplante (x).

Table 1. Mathematic model expressing total dry matter (Bt), in fruit (Fr) and foliage (Fo) accumulation on greenhouse tomato, according to days after transplant (x).

Modelos matemáticos	R ²
$Bt = 0,0298x^2 - 0,0621x + 5,7685$	0,9915
$Fo = 0,0049x^2 - 1,4294x - 2,8509$	0,9728
$Fr = 0,0209x^2 - 0,4206x - 58,731$	0,9724

Tabla 2. Rendimiento y distribución proporcional de frutos en tomate de invernadero.

Table 2. Fruit yield and percent fruit distribution of tomato under greenhouse conditions.

Rendimiento	Clasificación					Total
	Chico	Mediano	Grande	Extra grande	Muy grande	
Kg m ⁻²	8 ± 0,54	4,6 ± 0,37	5,4 ± 0,41	4,5 ± 0,28	0,1 ± 0,05	22,6
%	36	20	24	20	0	100

Los datos son la media ± la desviación estándar de n=4

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente estudio, el cultivo presentó la máxima área foliar en la hoja más recientemente madura entre los 30 y los 80 días después del trasplante, alcanzando un valor de 1500 cm². Así mismo, al final del estudio la altura alcanzada fue de 2,86 m con una tasa de crecimiento máxima presentada entre los 165 y 175 días (24 cm semana⁻¹). Por otro lado, la planta acumuló un total de 1003,4 g de materia seca de la cual acumuló el 54% en los frutos y 46% en las hojas y tallos. El rendimiento final obtenido fue de 22,6 kg m⁻² destinado el mayor porcentaje de los frutos hacia el tamaño chico.

LITERATURA CITADA

- Andriolo, J.L., Witter, M., Dal-Ross, T. y Godói, R.S. 2003. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com reutilização da solução nutritiva drenada. *Horticultura Brasileira*. 21:485-489.
- Andriolo, J.L. y Falcão, L.L. 2000. Efeito da poda de folhas sobre a acumulação de matéria seca e sua repartição para frutos do tomatiro cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. 8:75-83.
- Beck, M. 1997. Ecological irrigation and fertigation of soil grown plants in greenhouses. *Acta Horticulturae*. 450:413-417.
- Borbón-Morales, C. 2009. Agricultura protegida en México. Situación Actual y Perspectivas. <http://funpronl.org.mx/Biblioteca/Dr.%20Carlos%20Borbon%20Morales.pdf>. (Consultado en noviembre del 2011).
- Bugarín-Montoya, R., Galvis-Spinola, A., Sánchez-García, P. y García-Paredes, D. 2001. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. *Terra*. 20:401-409.
- Castellanos, J.Z. y Borbón, C.M. 2009. Panorama de la industria protegida en México. En *Manual de Producción de Tomate de Invernadero*. 1-18.
- Costa, P. y Giacomelli, G. 2005. ABC de la producción en invernadero. *Productores de Hortalizas*. Febrero. 48-50.
- De Groot, C.C., Marcelis, L.F.M., Van Den Boogaard, R. y Lambers, H. 2001. Growth and dry matter partitioning in tomato as affected by phosphorus nutrition and light. *Plant, Cell and Environment*. 24:1309-1317.
- Etchevers, B.J.D. 1997. Técnicas de diagnóstico útiles en la

- medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. *Terra*. 17:209-219.
- Godoy, H.H., Castellanos, R.J.Z., Alcántar, G.G., Sandoval, V.M. y Muñoz R.J.J. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoamericana*. 27:1-11.
- Grijalva, C.R.L., Macías, D.R. y Robles, C.F. 2011. Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14:675-682.
- Heuvelink, E. 1995. Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae*. 64:193-201.
- Heuvelink, E. 1996. Dry matter partitioning in tomato: validation of dynamic simulation model. *Annals of Botany*. 77:71-80.
- Heuvelink, E. 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Annals of Botany*. 83:413-422.
- Heuvelink, E., Bakker, M.J., Elings, A., Kaarsemaker, R y Marcelis, L.F.M. 2005. Effect of leaf area on tomato yield. *Acta Horticulturae*. 691:43-50.
- Ho, L.C. 1995. Carbon partitioning and metabolism in relation to plant growth and fruit production in tomato. *Acta Horticulturae*. 414:396-409.
- Jones, J.B. 1998. *Tomato Plant Culture: in the field, greenhouse, and home garden*. CRC. Boca Raton. U.S.A. p. 200.
- Lambers, H., Freijssen, N., Poorter, H., Hirose, T. y van der Werf, A. 1990. Analysis of growth based on net assimilation rate and nitrogen productivity: their physiological background. En *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*. Eds. Lambers, H., Cambridge, M.L. Konings, H. y Pons, T.L. pp. 1-18. Academic Publishing. The Hage, The Netherlands.
- Papadopoulos A.P. 1991. *Growing Greenhouse Tomatoes in Soil and Soilless Media*. Agriculture Canada Publication 186/E, Communications Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Canada.
- Rucoba, G.A., Anchondo, N.A., Luján, A.C. y Olivas, G.J.M. 2006. Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero en la región centro-sur de Chihuahua. *Revista Mexicana de Agrobiznegos*. 10:1-10.
- Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericano. S.A. de C.V. México. pp. 759.
- Schwartz, D. y Kläring, H.P. 2001. Allometry to estimate leaf area of tomato. *Journal of Plant Nutrition*. 24:1291-1309.
- Thompson, T.L. y Deorge, T.A. 1995. Nitrogen and water rates for subsurface trickle-irrigated romaine lettuce. *HortScience*. 30:1233-1237.
- Thompson, T.L., Deorge, T.A. y Godin, R.E. 2000. Nitrogen and water interactions in subsurface drip-irrigated cauliflower: I. Plant response. *Soil Science Society of American Journal*. 64:406-411.